

СТРУКТУРЫ РАСТЯЖЕНИЯ В КОМПЛЕКСЕ ЦЕНТРАЛЬНО-АРКТИЧЕСКИХ ПОДВОДНЫХ ПОДНЯТИЙ

В.А. Поселов, В.В. Буценко, С.М. Жолондз, А.А. Киреев

*Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана
им. Академика И.С. Грамберга, 190121, Санкт-Петербург, Английский просп., 1, Россия*

Вся совокупность современных геолого-геофизических данных свидетельствует о том, что морфоструктуры комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий (ЦАП) составляют единый сложнопостроенный блок континентальной коры, отделившийся в позднем палеоцене от Баренцево-Карской континентальной окраины.

Сейсмостратиграфическая интерпретация данных МОВ—ОГТ в пределах комплекса ЦАП, основанная на заверенных бурением сейсмостратиграфических реперах и на непрерывном прослеживании докайнозойских несогласий из шельфового Северо-Чукотского прогиба в его глубоководное продолжение (прогиб Вилькицкого), позволяет сделать следующие выводы.

В депонентах осадочных бассейнов прогиба Вилькицкого и Чукотской впадины присутствуют не только меловые комплексы, но и доверхнеюрские осадки. Последние широко не распространяются на остальную площадь комплекса ЦАП.

Главным фактором, повлиявшим на тектоническую эволюцию морфоструктур Центрально-Арктического бассейна, является рифтовое растяжение континентальной коры. Наиболее очевидные признаки рифтового растяжения на разрезах МОВ—ОГТ фиксируются на хр. Ломоносова, поднятии Менделеева, Чукотском плато и на их склонах в осадочные бассейны прогиба Вилькицкого и Чукотской впадины. В то же время депоненты этих осадочных бассейнов, выполненные доверхнеюрскими отложениями, характеризуются практически ненарушенным залеганием всех осадочных комплексов.

Возможно, доверхнеюрские осадки являются реликтом элсмирского структурного этажа, сохранившегося в глубоководном продолжении Северо-Чукотского прогиба от доокеанического этапа развития. По-видимому, глубокой рифтогенной переработке доверхнеюрские комплексы подвергались только на поднятиях Центрально-Арктической области и в прибортовых зонах разделяющих их депрессий. В структурно связанных с мелководным шельфом депонентах осадочных бассейнов прогиба Вилькицкого и Чукотской впадины отложения доверхнеюрских комплексов были затронуты рифтогенными процессами крайне слабо. По-видимому, на тектоническую эволюцию депонентов, на их погружение относительно бортовых зон могли влиять не только процессы растяжения коры, но и компенсационные механизмы.

Сейсмические исследования МОВ—ОГТ, сейсмическая стратиграфия, осадочный чехол, растяжение, Арктика, котловина Подводников, Северо-Чукотский прогиб, прогиб Вилькицкого.

EXTENSION STRUCTURES IN THE CENTRAL ARCTIC SUBMARINE ELEVATIONS COMPLEX

V.A. Poselov, V.V. Butsenko, S.M. Zholondz, and A.A. Kireev

The available body of geological and geophysical data indicates that the morphologic structures of the Central Arctic submarine elevations complex (CAE) form a single complex block of continental crust that broke away from the Barents–Kara continental margin in the late Paleocene. Seismostratigraphic interpretation of the multichannel seismic reflection data acquired within the CAE, based on seismostratigraphic benchmarks confirmed by drilling and continuous tracing of pre-Cenozoic unconformities from the offshore North Chukchi Trough to its deep-water extension (Vilkitsky Trough), makes it possible to draw the following conclusions: The sedimentary-basin depocenters of the Vilkitsky Trough and Chukchi basin include pre-Upper Jurassic sediments in addition to Cretaceous complexes. However, the former are not common in the rest area of the CAE.

Synrift extension of the continental crust is the key factor that affected the tectonic evolution of morphologic structures of the Central Arctic basin. Multichannel seismic reflection data show the clearest signs of the synrift extension in the Lomonosov Ridge, Mendeleev Rise, Chukchi plateau, and their flanks sloping to the sedimentary basins of the Vilkitsky Trough and Chukchi basin. At the same time, the depocenters of these

sedimentary basins formed by pre-Upper Jurassic deposits are characterized by an almost undisturbed bedding of all sedimentary complexes.

Pre-Upper Jurassic deposits might be interpreted as a relic of the Ellesmerian structural stage preserved in the deep-water extension of the North Chukchi trough since the preoceanic evolution stage. Pre-Upper Jurassic complexes seem to be affected by deep rift activity only within the elevations of the Central Arctic area and near-flank zones of the depressions separating them. Pre-Upper Jurassic deposits in the sedimentary basin depocenters of the Vilkitsky Trough and Chukchi basin structurally linked to the shallow-water shelf were barely affected by the rifting processes. The tectonic evolution of the depocenters and their submergence relative to the flank zones might have been affected not only by crustal extension processes but also by compensation mechanisms.

Multichannel seismic reflection, seismic stratigraphy, sedimentary cover, extension, Arctic, Podvodnikov Basin, North Chukchi Trough, Vilkitsky Trough

ВВЕДЕНИЕ

Комплекс Центрально-Арктических подводных поднятий (ЦАП) занимает наибольшую по площади часть глубоководного Амеразийского бассейна. Комплекс включает не только крупные положительные формы рельефа дна, такие как хр. Ломоносова, поднятие Менделеева, хр. Альфа, Чукотское плато и хр. Нортвинд, но и разделяющие их обширные батиметрические депрессии — котловины Подводников и Макарова, впадины Менделеева и Чукотская (рис. 1).

Геологическое строение и происхождение комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий, как и всего Амеразийского бассейна (традиционно в него, кроме ЦАП, включают Канадскую котловину), является предметом дискуссий уже более полувека, за который учеными был предложен целый ряд тектонических моделей [Carey, 1958; Grantz et al., 1979, 2011; Forsyth, 1986; White et al., 1989; Jokat, 2003; Miller, 2006; Brumley et al., 2008, 2011; Miller, Verzhbitsky, 2009; Dove et al., 2010; Funck et al., 2011; Scotese, 2011; Лобковский и др., 2013; Vernikovskiy et al., 2013; Petrov, 2016].

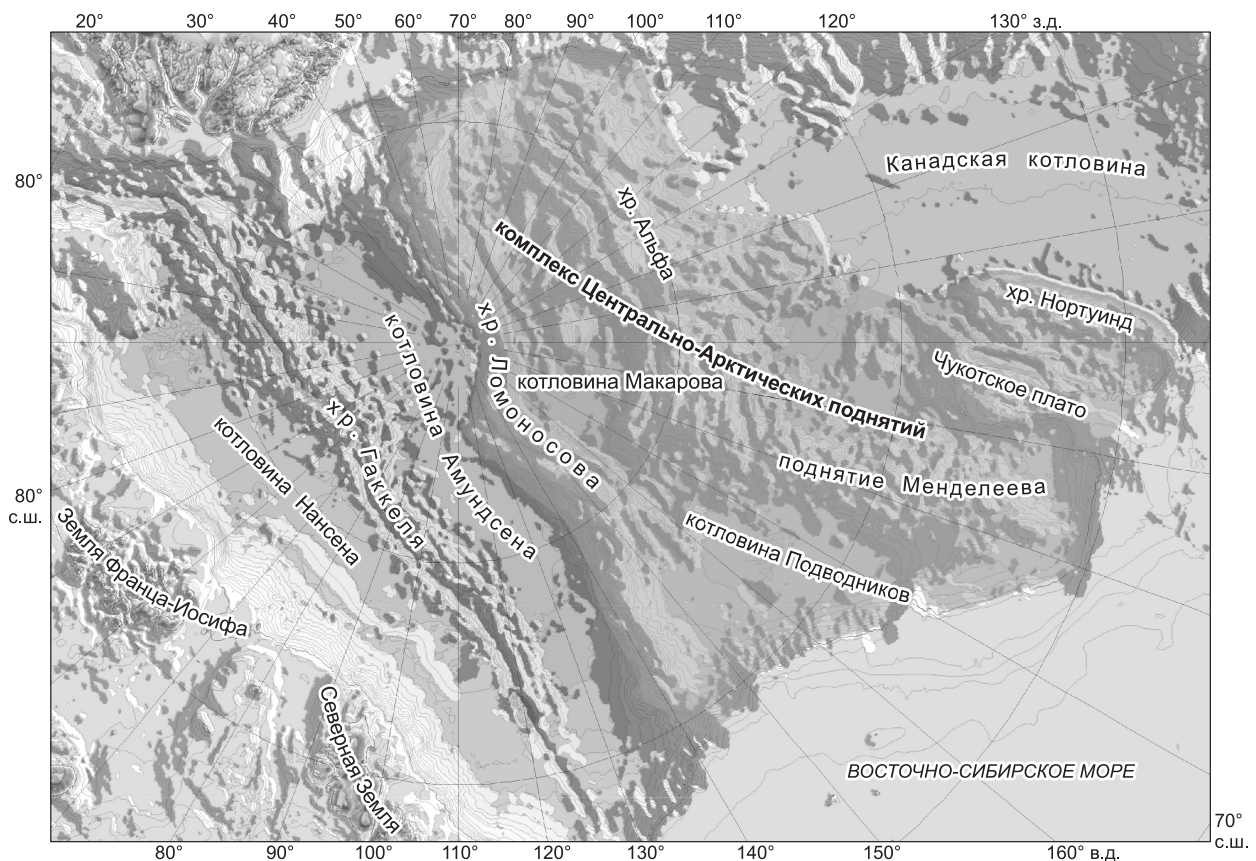


Рис. 1. Комплекс Центрально-Арктических подводных поднятий.

Рис. 2. Геоструктуры Центрально-Арктической области и прилегающего Восточно-Сибирского шельфа на фоне карты мощности осадочного чехла.

1 — изопакеты осадочного чехла (км); 2 — геоструктуры: I — Северо-Чукотский прогиб, II — глубоководное продолжение Северо-Чукотского прогиба (прогиб Вилькицкого), III — трог Ханна, IV — Анисинский прогиб, V — поднятие между Северо-Чукотским прогибом и трогом Ханна, VI — поднятие Де-Лонга, VII — Врангель-Геральдское поднятие.

В период с 2005 по 2014 г. Россией выполнены региональные сети батиметрических и сейсмических профилей, обеспечивающие возможность изучения основных структур Центрально-Арктического бассейна и зон их сочленения как с прилегающим Восточно-Сибирским мелководным шельфом, так и с океаническим обрамлением — Евразийским бассейном на западе и Канадской котловиной на востоке. Объем базы данных на сегодняшний день составляет 35 000 км батиметрических профилей, более 23 000 км профилей МОВ—ОГТ, более 4000 км профилей ГСЗ и 150 зондирований МОВ—МПВ.

Результаты обработки и интерпретации современных геолого-геофизических данных свидетельствуют, что морфоструктуры ЦАП составляют единый сложнопостроенный блок континентальной коры, отделившийся в позднем палеоцене от Баренцево-Карской континентальной окраины. Соответствующие этим морфоструктурам поднятия и прогибы, и их взаимоотношение с геоструктурами прилегающего Восточно-Сибирского мелководного шельфа (обсуждаемыми в статье) иллюстрируются картой мощности осадочного чехла, построенной в ФГБУ «ВНИИОкеангеология» на основе базы данных МОВ—ОГТ (рис. 2).

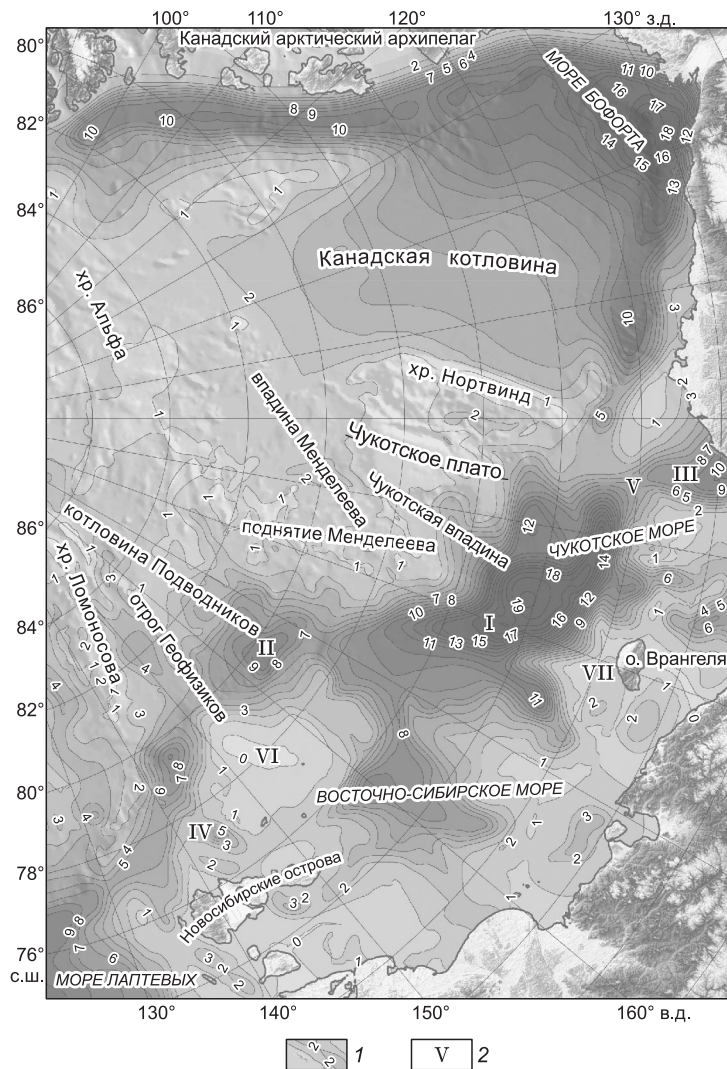
В статье рассмотрены доказательства континентальной природы земной коры комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий и признаки его растяжения как главного фактора, влиявшего на тектоническую эволюцию входящих в этот мегаблок положительных и отрицательных морфоструктур.

СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ МОВ—ОГТ

Надежная интерпретация кайнозойской части осадочного чехла комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий стала возможной после бурения скв. АСЕХ [Backman et al., 2006]. В работах [Буценко, 2006; Butsenko, Poselov, 2006; Poselov et al., 2014] убедительно показано, что два главных кайнозойских несогласия в рассматриваемом осадочном бассейне соответствуют двум главным переяркам в разрезе скважины — посткампанскому (несогласие рСУ) и предмиоценовому (региональное несогласие RU).

Трудности возникают при интерпретации докайнозойского осадочного разреза, прежде всего из-за отсутствия данных глубокого бурения на Восточно-Сибирском шельфе. Прорыв в этом вопросе произошел после российской экспедиции Арктика-2014, получившей данные МОВ—ОГТ с косой 4.5 км вдоль профиля 1401 (рис. 3).

Профиль 1401, выполненный ОАО «МАГЭ» по предложению ФГБУ «ВНИИОкеангеология», уникален. Он показал, что все основные несогласия в осадочном чехле шельфового Северо-Чукотского



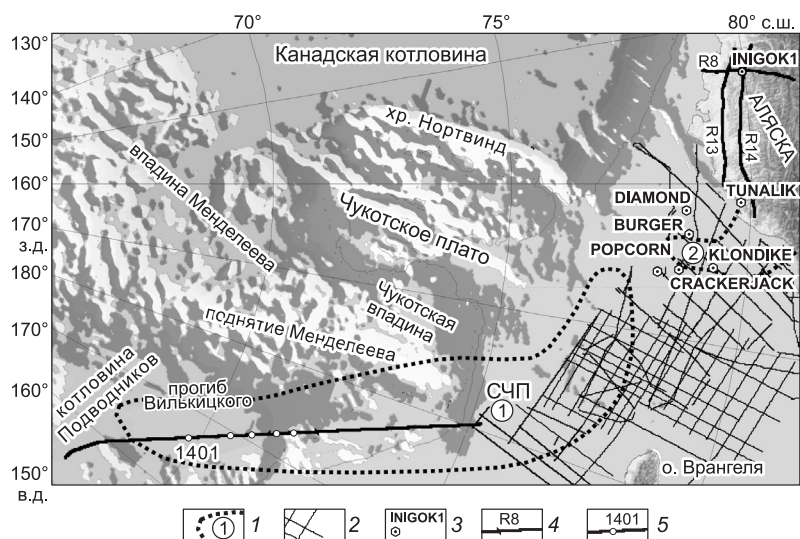


Рис. 3. Схема-иллюстрация к сейсмостратиграфической интерпретации данных МОВ—ОГТ.

1 — контуры Северо-Чукотского прогиба (1) и трога Ханна (2); 2 — изученность МОВ—ОГТ в районе исследований; 3 — скважины США; 4 — рассматриваемые профили МОВ—ОГТ; 5 — рассматриваемый профиль МОВ—ОГТ 1401 экспедиции Арктика-2014 с положением пунктов зондирования МОВ—МПВ.

прогиба (СЧП) непрерывно трассируются в прогиб Вилькицкого (рис. 4). Соответственно, последний следует рассматривать в качестве продолжения Северо-Чукотского прогиба в глубоководную область.

Таким образом, необходимо привязать основные несогласия в осадочном бассейне СЧП к данным скважин США на шельфе либо на побережье Аляски [Klemperer et al., 2002; Sherwood et al., 2002] (см. рис. 3). Густая сеть профилей МОВ—ОГТ вроде бы позволяет выполнить такую привязку. Однако поднятие между СЧП и трогом Ханна, на котором пробурены наиболее информативные скважины (см. рис. 3), осложнено тектоникой, нарушающей регулярность волнового поля МОВ—ОГТ, что исключает возможность непрерывного прослеживания основных несогласий от скважин в Северо-Чукотский прогиб (более или менее надежно можно проследить только основание кайнозойских отложений mBU от скв. POPCORN).

В связи с этим возникает необходимость поиска заверенных бурением региональных сейсмостратиграфических реперов для их проецирования в СЧП.

Такие реперы, заверенные скв. INIGOK [Bird, 1994], были найдены на профилях МОВ—ОГТ R13, R8, R14 (SEG-Y разрезы доступны на www.pubs.er.usgs.gov/publication/ofr00286) на побережье Аляски (см. рис. 3, 4).

Первый репер представляет собой проградационный комплекс с подошвенным прилеганием (downlap) палеосклонов (см. рис. 4). По данным скв. INIGOK, он датируется аптом-альбом и подстилается брукским несогласием (BU), часто сливающимся с нижнемеловым (BU+LCU). Верхняя граница комплекса, не являясь ярким рефлексом, сформирована выполаживающимися в сторону континента клиноформами и соответствует границе в низах верхнего мела. Боковое наращивание палеошельфа и образование палеосклонов происходило во время трансгрессий и регрессий, поэтому первый репер можно назвать трансгрессивно-регрессивным комплексом (ТРК).

Второй репер, по данным скв. INIGOK, ограничен сверху LCU (либо BU+LCU), снизу — верхнеюрским несогласием JU и представлен сейсмofациями хаотического заполнения низкоамплитудными рефлексорами. В работах [Klemperer et al., 2002; Sherwood et al., 2002] он интерпретируется как рифтовый комплекс, отделяющий брукский структурный этаж от элсмирского и синхронный раскрытию в неокоме Канадской котловины. Поверхность верхнеэлсмирского комплекса (JU) представлена наиболее ярким на разрезах двухфазным рефлексом (см. рис. 4).

Принципиально важен региональный статус выделенных реперов. По мнению авторов, он обусловлен таким ключевым региональным тектоническим событием, как раскрытие Канадской котловины. Если второй репер ему синхронен, то первый (ТРК) сформировался уже после раскрытия в результате трансгрессий и регрессий берегового обрамления единой акватории. Отличительным сейсмостратиграфическим признаком трансгрессивно-регрессивного комплекса является подошвенное прилегание палеосклонов.

Учитывая региональность выделенных реперов, проградационный комплекс с отчетливо фиксируемыми на профиле 1401 палеосклонами (см. рис. 4) может быть проинтерпретирован в Северо-Чукотском прогибе как апт-альбский — верхнемеловой ТРК (первый репер). Как и на побережье Аляски, в СЧП палеосклоны характеризуются подошвенным прилеганием. Соответственно, подстилающее трансгрессивно-регрессивный комплекс несогласие идентифицируется как BU, а чуть ниже прослеживаемый рефлексор — как LCU. Более того, LCU перекрывает сейсмofации хаотического заполнения низкоамплитудными рефлексорами (второй репер). Последние подстилаются в СЧП ярким двухфазным рефлексом, который идентифицируется как JU [Поселов и др., 2017].

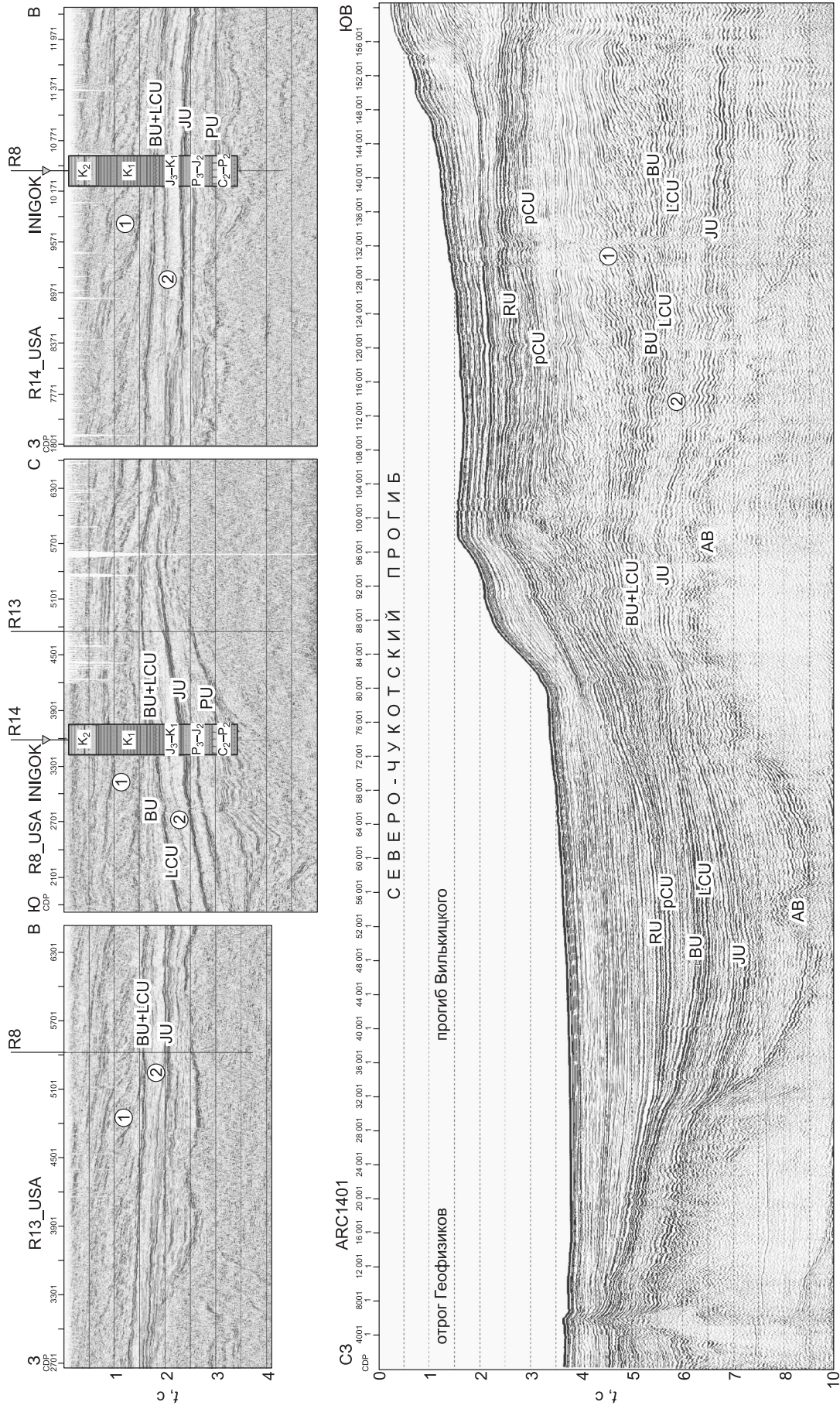


Рис. 4. Сопоставление разрезов МОВ—ОГТ на побережье Аляски (профили R13, R8, R14) и в Северо-Чукотском прогибе (пр. 1401).

Индексы и возраст основных несогласий: RU — региональное предмиоценовое, pCU — послампанское, BU — брукланское, JU — нижнемеловое, PU — верхнеюрское, RU — пермское, AB — акустический фундамент; сейсмостратиграфические реперы: трансгрессивно-регрессивный комплекс (1), комплекс хаотического заполнения низкомплитудными рефлекторами (2).

Важно отметить, что практически на всех профилях МОВ—ОГТ в пределах Северо-Чукотского прогиба разные авторы выделяют комплекс, заполненный хаотическими непротяженными клиноформами. Их природа была неясна. Только после анализа данных МОВ—ОГТ вдоль профиля 1401 стало понятно, что так отображается на разрезах первый репер (ТРК) в случаях, когда ориентация профилей не совпадает с направлением бокового наращивания апт-альбского палеошельфа, а именно — от депоцентра СЧП на мелководном шельфе к депоцентру его глубоководного продолжения (прогиб Вилькицкого) (см. рис. 2, 3).

По поводу возможного источника сноса терригенных осадков для формирования апт-альбского — верхнемелового ТРК в Северо-Чукотском прогибе можно предположить следующее. Ближайшей к СЧП скважиной является скв. POPCORN (см. рис. 3). Она пробурена на поднятии, отделяющем СЧП от трога Ханна. Среди всех скважин, пробуренных США на шельфе Аляски, ее разрез отличается резким сокращением мощности апт-альбского комплекса [Sherwood et al., 2002]. А учитывая то, что на разрезах всех скважин также отсутствует и верхнемеловой комплекс, логично предположить, что искомым источником сноса для формирования ТРК являлись поднятия, ограничивающие бассейн СЧП с востока—юго-востока. Более того, вследствие полной эрозии верхнемеловых отложений на разбуренном участке шельфа Аляски доля этих осадков относительно апт-альбских отложений в формировании ТРК увеличивается по мере продвижения (и естественного омоложения) палеосклонов к прогибу Вилькицкого (см. рис. 4).

Важно отметить, что на юго-восточном фланге профиля 1401, выше рСУ, во временном диапазоне 0.5—2.5 с наблюдается еще один, более молодой (верхний) проградационный комплекс (см. рис. 4). Проградации на временах 0.5—2.5 с также фиксируются на разрезах МОВ—ОГТ, полученных в окрестности северного борта СЧП экспедицией R/V Polarstern 2008 г. [Hegewald, Jokat, 2013]. В интерпретации немецких исследователей их подстиляет среднебрукское несогласие mBU (основание кайнозойских отложений, аналог рСУ). При этом они считают, что формирование кайнозойских проградаций связано со значительными региональными колебаниями относительного уровня моря, причем Чукотский шельф стал наращиваться наиболее активно после прорыва изоляции Арктического океана в раннем миоцене (т.е. после RU) вследствие открытия прохода Фрама, инициировавшего массовый приток вод Атлантики [Hegewald, Jokat, 2013].

Следует отметить еще два важных факта.

— От скважины POPCORN можно с некоторым перерывом протрассировать несогласие рСУ (mBU) по всей сети профилей МОВ—ОГТ в пределах СЧП (см. рис. 3). Оказалось, что привязанное к скважине основание кайнозойских отложений фиксируется в шельфовой части Северо-Чукотского прогиба на временах около 3.0 с, тогда как подошва нижних проградаций прослеживается на уровне 5.5—6.0 с (см. рис. 4).

— Основание кайнозойских отложений рСУ (или mBU, по [Sherwood, 2002]), прослеженное по системе трансрегиональных профилей МОВ—ОГТ от скв. POPCORN на шельфе Аляски и от глубоководной скв. ACEX на хр. Ломоносова, сходится в глубоководном продолжении Северо-Чукотского прогиба (в прогибе Вилькицкого) с точностью до фазовой корреляции.

Судя по тому, что большинство скважин на шельфе Аляски вскрыли мощную толщу кайнозойских отложений (в частности, скв. POPCORN), источниками сноса для формирования верхних проградаций в СЧП были поднятия, ограничивающие бассейн СЧП не с востока, а с юга (например, Врангель-Геральдское поднятие). Смена направления сноса определила и изменение направления бокового наращивания Чукотского палеошельфа — с юго-восточного—северо-западного для апт-альбских-верхнемеловых клиноформ на юг—север для кайнозойских. Не исключено, что такая реорганизация режима сноса на Чукотском шельфе была связана с одним из главных тектонических событий в истории Северного Ледовитого океана — с началом раскрытия Евразийского бассейна.

Таким образом, идентификация подошвы верхнего проградационного комплекса как основания кайнозойских отложений, доказанная независимыми источниками, подтверждает апт-альбский-позднемеловой возраст нижнего комплекса клиноформ (ТРК) в Северо-Чукотском прогибе. При этом в продолжении ТРК в прогиб Вилькицкого доля позднемеловых осадков относительно апт-альбских резко возрастает.

Из всей вышеприведенной аргументации можно сделать принципиальный вывод — непрерывное прослеживание BU, LCU и JU из шельфового Северо-Чукотского прогиба в котловину Подводников свидетельствует о присутствии в депоцентре глубоководного продолжения СЧП не только меловых комплексов, но и доверхнеюрских осадков [Поселов и др., 2017].

Используя сеть региональных профилей МОВ—ОГТ и профиль 1401 в качестве сейсмостратиграфического репера, основные несогласия осадочного чехла были практически непрерывно прослежены на всей площади Центрально-Арктического бассейна. Выяснилось, что доверхнеюрские отложения выполняют только прогиб Вилькицкого и широко не распространяются на остальную площадь ЦАП.

ПРИЗНАКИ РАСТЯЖЕНИЯ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Признаки рифтового растяжения континентальной коры в главных морфоструктурах комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий отчетливо видны на профиле МОВ—ОГТ вдоль субширотного трансарктического профиля от котловины Амундсена до Чукотского плато (рис. 5).

Картирование нормальных сбросов в пределах комплекса ЦАП отображает их приблизительную ориентацию север—юг при преобладающем направлении вектора растяжения восток—запад. Аналогичные тренды тектонических нарушений зафиксированы на прилегающей суше Российской Арктики [Miller et al., 2009].

Более детально признаки растяжения можно рассмотреть на отдельных морфоструктурах Центрально-Арктического бассейна.

Хребет Ломоносова. В соответствии с современными палеореконструкциями хр. Ломоносова не рассматривается в качестве террейна. В период от позднего палеоцена до плиоцена хребет участвовал в движении Северо-Американской литосферной плиты относительно Евразийской как неотъемлемая часть ансамбля структур ЦАП [Poselov et al., 2014]. Примечательно, что этот вывод в настоящее время поддерживается и некоторыми западными учеными, например В. Йокатом [Jokat et al., 2013].

Континентальная природа хр. Ломоносова не вызывает сомнений. По данным ГСЗ, мощность земной коры на хребте составляет 18—21 км при приблизительно равном соотношении мощностей верхней и нижней коры [Poselov et al., 2014; Арктический бассейн..., 2017]. Выше кристаллического основания залегает переходный по сейсмическим параметрам слой, условно именуемый «метаосадочным», поверхность которого является акустическим фундаментом стратифицированных отложений на разрезе МОВ—ОГТ.

Разрез чехла выше акустического фундамента характеризуется неизменным присутствием как нижнего рифтового, так и верхнего покровного комплексов, которые, несмотря на изменчивую мощность, устойчиво прослеживаются вдоль всего хребта. Рифтовый комплекс заполнен мел-палеогеновыми осадками, отложившимися, по данным скв. АСЕХ, в неритовых условиях. Покровный комплекс представлен миоцен-четвертичными гемипелагическими отложениями. Кардинальная смена обстановки осадконакопления на рубеже палеогена—неогена была предположительно вызвана тектоническим событием открытия прохода Фрама (ЛМА 13), инициировавшим массовый приток вод Атлантики в Арктический бассейн. Палеогеновый комплекс на хребте представлен первыми сотнями метров (в точке АСЕХ он имеет мощность ~200 м). Следовательно, до раннего—среднего миоцена хр. Ломоносова стоял выше уровня моря либо близко к нему [Poselov et al., 2014].

Данные МОВ—ОГТ на хр. Ломоносова выявили множество признаков рифтового растяжения. Наиболее ярко они проявились на восточном склоне хребта, где зафиксирована серия полуграбенов, ограниченных нормальными сбросами с амплитудами от 1200 до 2300 м при углах падения их плоскостей $\approx 16^\circ$ (рис. 6, а). В соответствии с принятой сейсмостратиграфической моделью, синрифтовые комплексы датируются нижним и верхним мелом. На склоне хр. Ломоносова в котловину Амундсена наблюдается серия нормальных сбросов, нарушающих палеогеновые осадки. Возможно, они образовались при реактивации меловых сбросов во время ультрамедленного спрединга в Евразийском бассейне.

Котловина Подводников. Под географическим термином «котловина Подводников» авторами понимаются (с позиций геоморфологии) две террасы (верхняя и нижняя) сложного континентального склона мелководного Восточно-Сибирского шельфа в направлении котловины Макарова (в последней фиксируется его подножие). Верхняя терраса в структурно-тектоническом отношении соответствует продолжению в глубоководную область Северо-Чукотского прогиба (прогиб Вилькицкого).

По данным ГСЗ, строение земной коры котловины Подводников соответствует представлениям о растянутой окраинно-континентальной коре с мощностью 19—24 км (2—5 км верхней коры) [Lebedeva-Ivanova et al., 2006; Арктический бассейн..., 2017]. Предполагается, что утонение верхней коры котловины произошло в результате рифтогенных процессов.

Данные МОВ—ОГТ показывают, что склон акустического фундамента хр. Ломоносова распространяется на всю западную часть котловины Подводников, вплоть до границы с прогибом Вилькицкого (см. рис. 5). Эта особенность также отмечается в материалах немецкой экспедиции R/V Polarstern 2008 г. [Jokat et al., 2013]. Крупный грабенообразный прогиб между хр. Ломоносова и отрогом Геофизиков (отрогом хр. Ломоносова) осложнен системой полуграбенов с амплитудами нормальных сбросов 800—1000 м при углах падения их плоскостей $\approx 30^\circ$. Полуграбены выполнены осадками домелового возраста и перекрыты мощным комплексом меловых отложений (см. рис. 6, б). Палеогеновый комплекс здесь характеризуется крайне незначительной мощностью. Приблизительно такая же мощность палеогеновых осадков зафиксирована скв. АСЕХ на хр. Ломоносова, где по керну установлена неритовая обстановка их накопления. Верхняя часть разреза представлена покровом миоцен-четвертичных гемипелагических отложений.

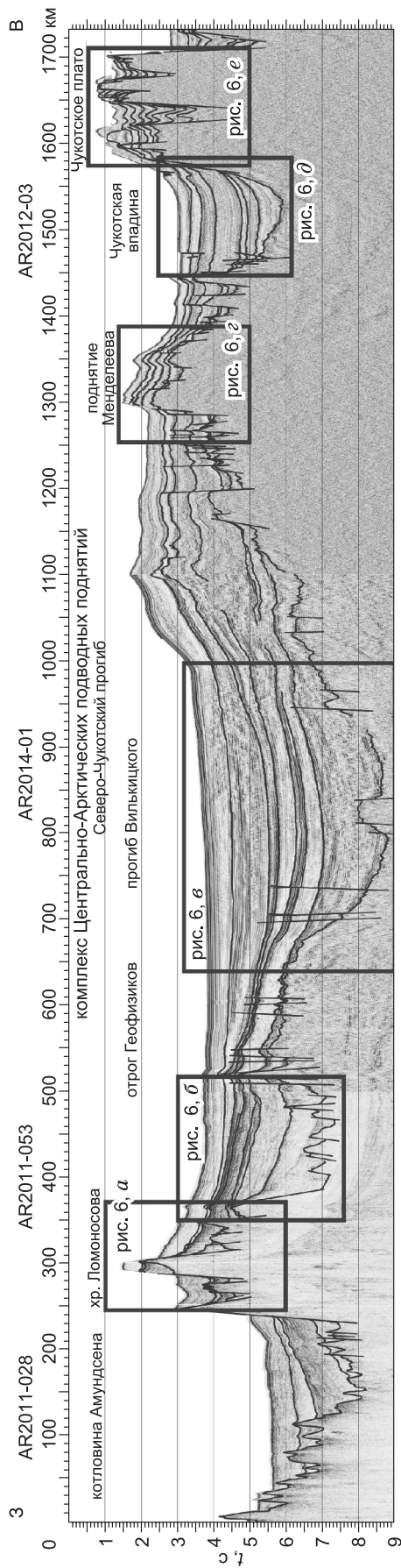
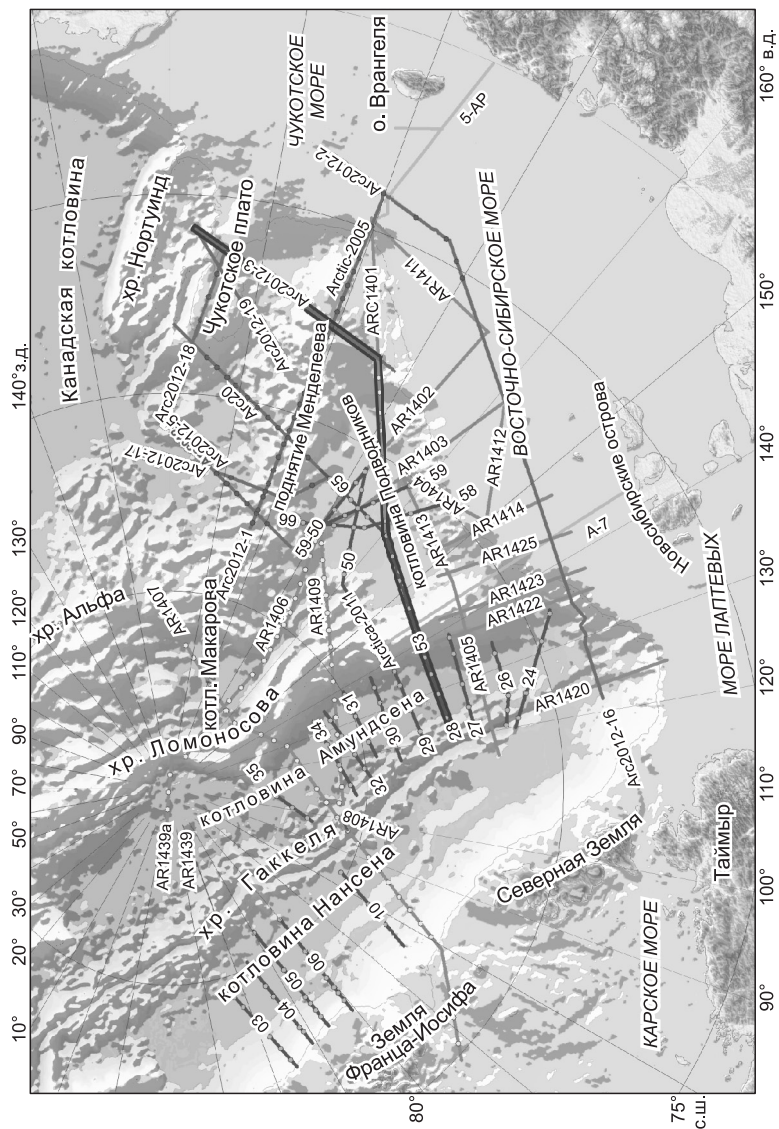


Рис. 5. Сводный разрез МОВ—ОГТ вдоль субширотного трансарктического профиля через комплекс Центрально-Арктических подводных поднятий.

Индексы и возраст основных несогласий: Ms — мессинское, RU — региональное предмиоценовое, pCU — посткампанское, BU — брукское, LCU — нижнемеловое, JU — верхнеюрское, AB — акустический фундамент.



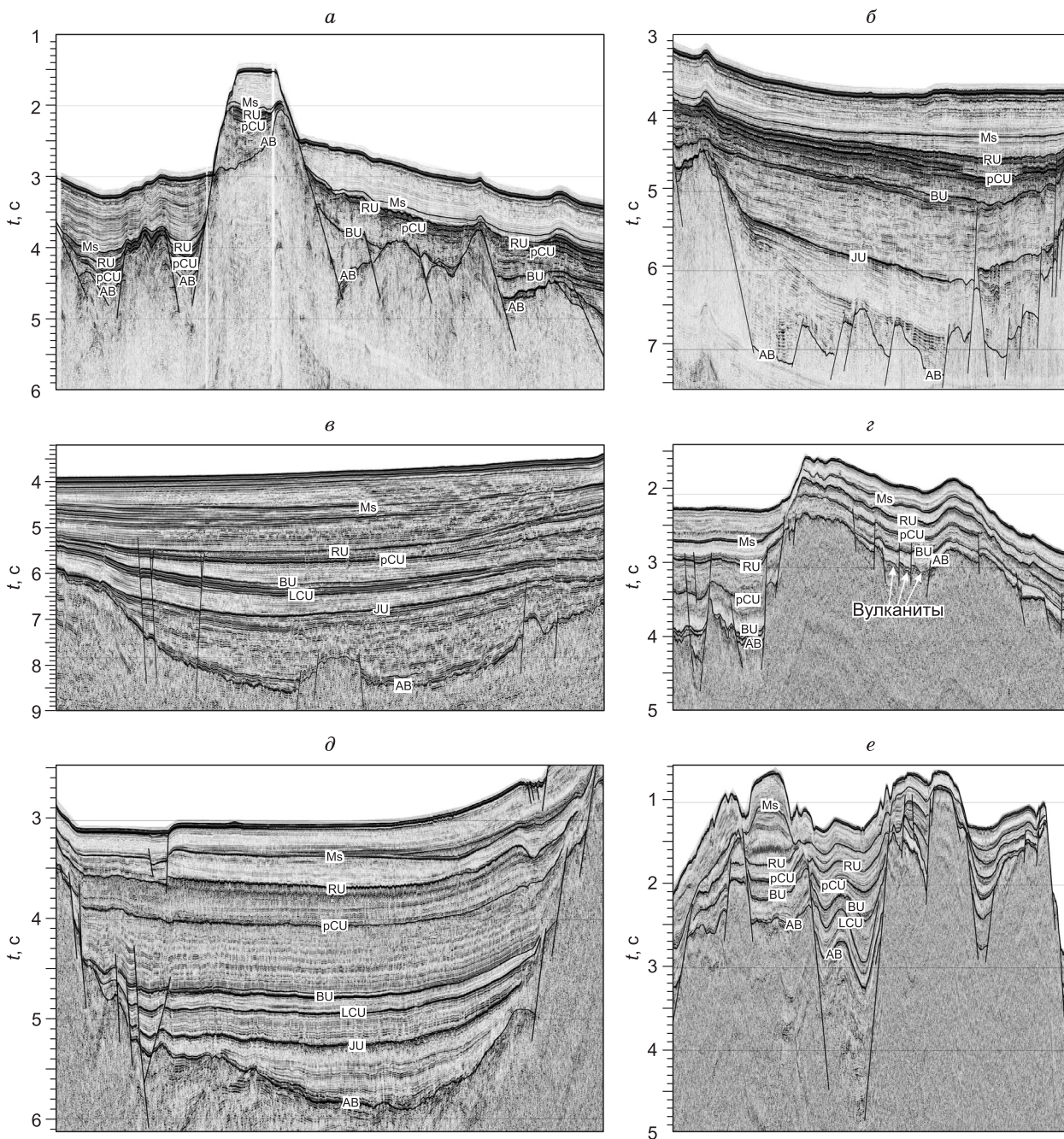


Рис. 6. Фрагмент разреза МОВ—ОГТ на хр. Ломоносова (*а*); в грабене между хр. Ломоносова и отрогом Геофизиков (*б*); в глубоководном продолжении Северо-Чукотского прогиба (прогибе Вилькицкого) (*в*); на поднятии Менделеева (*г*); в Чукотской впадине (*д*); на Чукотском плато (*е*).

Положение фрагмента на сводном разрезе и возраст основных несогласий показаны на рис. 5.

Западный борт прогиба Вилькицкого представлен отрогом Геофизиков. Отличительной чертой структуры отложений в прогибе Вилькицкого является увеличенная мощность верхнемелового комплекса, который накапливался предположительно в морских условиях. В то же время мощность палеогеновых осадков в прогибе Вилькицкого незначительно отличается от таковой в грабенообразном прогибе между хр. Ломоносова и отрогом Геофизиков, что, скорее всего, указывает на близкую к неритовой обстановку осадконакопления в палеогене. Верхняя часть разреза представлена покровом миоцен-четвертичных гемипелагических отложений (рис. 6, *в*).

Центральная часть прогиба Вилькицкого (депоцентр) выполнена мощным комплексом доверхнеюрских осадков (ниже верхнеюрского несогласия), продолжающихся из шельфовой части Северо-Чу-

котского прогиба. Она характеризуется спокойным, практически ненарушенным залеганием всех осадочных комплексов (см. рис. 6, в). Структуры растяжения здесь выражены крайне слабо. Поэтому можно предположить, что на тектоническую эволюцию депоцентра прогиба Вилькицкого, на его погружение относительно бортовых зон влияли не только процессы растяжения коры, но и компенсационные механизмы, связанные с изменением вещественного состава нижней коры. Например, компенсационный механизм образования глубоководных впадин Американо-Азиатского бассейна вследствие эклогитизации в основании нижней коры предложен в работе [Артюшков, Поселов, 2010].

Поднятие Менделеева. Поднятие Менделеева на западе через ступенчато-разломную зону граничит с прогибом Вилькицкого, на юге — с Северо-Чукотским прогибом, являясь его северным бортом, на востоке — с Чукотской впадиной. Тесная геоморфологическая связь поднятия Менделеева с мелководным Восточно-Сибирским шельфом подтверждается наличием непрерывного ряда батиметрических террас, закономерно погружающихся по мере удаления от бровки шельфа.

Строение земной коры поднятия Менделеева соответствует представлениям о растянутой окраинно-континентальной коре. По данным ГСЗ, мощность коры на поднятии составляет 30—32 км при мощностях верхней и нижней коры 4—8 и 20—22 км соответственно [Поселов и др., 2012; Арктический бассейн..., 2017]. Предполагается, что утонение верхней коры поднятия произошло в результате рифтогенных процессов.

Данные МОВ—ОГТ выявили на поднятии Менделеева многочисленные структуры растяжения, представленные грабенами и полуграбенами в основании осадочного чехла (см. рис. 6, г). Они контролируются нормальными сбросами с амплитудами 160—220 м при углах падения их плоскостей в диапазоне от 15 до 30°. Максимальные амплитуды сбросов (до 500 м) с углами падения до 40° фиксируются на стыке поднятия Менделеева с прогибом Вилькицкого. Наблюдается широкое развитие синрифтовых нижнемеловых микробассейнов. В полуграбенах у поверхности акустического фундамента выделяются короткие высокоамплитудные аномалии, которые предположительно можно интерпретировать как вулканические породы. Анализ образцов показал их меловой возраст и неритовую обстановку при выходе на поверхность [Morozov et al., 2013]. Аналогичные признаки растяжения наблюдаются и на хр. Альфа [Bruvoll et al., 2012]. На всем протяжении поднятия Менделеева покрыто миоцен-четвертичными гемипелагическими отложениями.

Распространенное мнение об исключительно вулканическом происхождении поднятия Менделеева [Forsyth, 1986; Jokat, 2003; Dove et al., 2010; Funck et al., 2011; Bruvoll et al., 2012] опровергается данными анализа образцов пород, взятых с помощью манипулятора на эскарпах подводных гор поднятия Альфа-Менделеева в 2012, 2014—2016 гг. российской научно-исследовательской подводной лодкой (НИПЛ) [Morozov et al., 2013; Gusev et al., 2017; Сколотнев и др., 2017]. Подавляющее количество образцов взято непосредственно из уступов, сложенных коренными породами, и из курумников, сформировавшихся на террасах и вершинах уступов.

В собранной коллекции образцов преобладают осадочные породы: доломиты, известняки, кварцитопесчаники, песчаники. Магматические породы представлены базальтами, андезитами, андезитобазальтами, туфами, долеритами и габбро. Однотипные породы, собранные разными способами, принципиально не отличаются друг от друга и проявляют признаки парагенетического единства.

Оценка возраста осадочных пород определялась палеонтологическими методами на основании изучения видового и родового состава акритарх, спор, пыльцы, сколекодонтов, диноцист, конодонтов, криноидей, фораминифер и брахиопод. По итогам палеонтологического изучения выделены три группы осадочных пород: поздний ордовик—поздний силур (известняки, доломиты), средний—поздний девон (известняки, песчаник) и ранний мел (баррем—апт) (песчаник).

Некоторые представители палеозойской палеофауны характерны для разновозрастных отложений Сибири. Характер напластования выделенных толщ разреза и литологические особенности пород их образующих (доломитов, известняков, песчаников и кварцитопесчаников) свидетельствуют о том, что осадочный разрез поднятия Менделеева образован в мелководных континентальных условиях эпиплатформенного моря.

Чукотская впадина. Борты Чукотской впадины в зонах ее сочленения с поднятием Менделеева и Чукотским плато осложнены серией субмеридиональных сбросовых уступов.

По данным ГСЗ, строение земной коры Чукотской впадины соответствует представлениям о растянутой окраинно-континентальной коре с мощностью 19—20 км (2—3 км верхней коры) [Кашубин и др., 2016]. Предполагается, что утонение верхней коры впадины произошло в результате рифтогенных процессов.

Обращает на себя внимание сходство структуры осадочных бассейнов Чукотской впадины и котловины Подводников. Данные МОВ—ОГТ показывают, что склон акустического фундамента поднятия Менделеева распространяется на всю западную часть Чукотской впадины (см. рис. 5, 6, д). Поэтому ее, как и котловину Подводников, следует делить на две части — западную и восточную. Основные отличия между двумя частями Чукотской впадины заключаются в выраженности признаков растяжения.

Западная часть Чукотской впадины (склон поднятия Менделеева) подстилается системой грабенов и полуграбенов, контролируемых нормальными сбросами с амплитудами 300—400 м при углах падения их плоскостей $\approx 30^\circ$. В соответствии с авторской сейсмостратиграфической интерпретацией, они выполнены осадками нижнемелового возраста, перекрытыми мощными отложениями верхнего мела. Палеогеновый комплекс здесь характеризуется чуть большей, чем в котловине Подводников, мощностью и также затронут тектоническими нарушениями. Верхняя часть разреза представлена покровом миоцен-четвертичных гемипелагических отложений.

Восточная часть впадины характеризуется ненарушенным залеганием всех осадочных комплексов (см. рис. 6, *д*). Признаки растяжения здесь, как и в депоцентре прогиба Вилькицкого, выражены крайне слабо. Нормальные сбросы с амплитудами до 1100 м при углах падения их плоскостей $\approx 34^\circ$ фиксируются только на стыке Чукотской впадины с Чукотским плато. Верхняя часть разреза представлена покровом миоцен-четвертичных гемипелагических осадков. Депоцентр впадины выполнен достаточно мощным комплексом доверхнеюрских отложений (ниже верхнеюрского несогласия), который, возможно, продолжается из Северо-Чукотского прогиба.

Чукотское плато. Чукотское плато представляет собой неглубоко погруженный аваншельфовый выступ континентальной коры. По данным ГСЗ, мощность земной коры на плато составляет 28—30 км при приблизительно равном соотношении мощностей верхней и нижней коры [Кашубин и др., 2016].

Данные МОВ—ОГТ выявили на Чукотском плато структуры рифтового растяжения, представленные системой грабенов и полуграбенов в основании осадочного чехла. Они контролируются нормальными сбросами, которые последовательно смещают акустический фундамент, осадочные комплексы (от нижнемелового до неогенового) и морское дно (см. рис. 6, *е*). Амплитуды сбросов изменяются в пределах 600—900 м с углами падения их плоскостей в диапазоне 28—43°.

Восточно-Сибирский шельф. По мнению некоторых российских и западных ученых, шельф Восточно-Сибирского моря испытал сильное растяжение земной коры примерно в направлении восток—запад [Miller, 2006; Miller et al., 2009]. На разрезах МОВ—ОГТ это отображается в фиксации типичных рифтовых грабенов и полуграбенов в акустическом фундаменте поднятия Де-Лонга и его склонов в Анисинский и Северо-Чукотский прогибы (см. рис. 2, 7), а также в развитии синрифтовых комплексов с признаками (в волновом поле) формирования в их основании вулканических пород. Контролируют структуры растяжения нормальные сбросы с амплитудами до 3 км при углах падения их плоскостей в диапазоне от 36 до 57°. Возрастной диапазон синрифтовых комплексов изменяется от нижнемелового на склоне поднятия Де-Лонга в Анисинский прогиб до верхнемелового на вершине поднятия и его склоне в Северо-Чукотский прогиб.

В пределах комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий выявлена крупная магматическая провинция Высокоширотной Арктики (HALIP) [White, 1989; Coffin, Eldholm, 1994; Bruvoll et al., 2012].

Данные МОВ—ОГТ российских и зарубежных экспедиций в 2012—2014 гг. показывают, что на поднятиях Менделеева, Альфа и Де-Лонга у поверхности акустического фундамента наблюдаются не протяженные высокоамплитудные аномалии. Они предположительно интерпретируются как образования, сложенные базальтовыми потоками и sillами с прослоями туфов и осадочных пород. Вулканические толщи развиты в пределах грабенов и полуграбенов, что может указывать на их образование в процессе рифтогенеза и растяжения фундамента, контролируемого сбросовой тектоникой.

Имеющиеся материалы свидетельствуют, что Центрально-Арктическая область испытывала две стадии интенсивного полихронного вулканизма, характерного для HALIP [Morozov et al., 2013].

Первая стадия, преимущественно в нижнем мелу, связана с континентальным рифтогенезом ЦАП 120—130 млн лет назад. Наличие этой стадии было подтверждено в ходе экспедиции «Арктика-2012» геологическим опробованием на поднятии Менделеева, выявившим по уран-свинцовому методу возраст вулканических пород 128 млн лет [Morozov et al., 2013].

Более молодая, вторая стадия вулканизма, около 80—90 млн лет, представлена большинством образцов, отобранных в районе поднятий Менделеева-Альфа и Чукотского плато [Morozov et al., 2013].

По данным [Mukasa et al., 2009], образцы, поднятые во впадине Менделеева, представлены субщелочными базальтами, на хр. Нортвинд — щелочными базальтами, на топографических максимумах поднятия Менделеева — субщелочными и щелочными базальтами, на Чукотском плато — переходными между щелочными и субщелочными базальтами. При этом химические характеристики всех образцов нетипичны для срединно-океанических хребтов.

Базальтовый вулканизм в Центрально-Арктическом бассейне имеет сходство с проявлениями того же возраста и похожего состава, известными на островном обрамлении Арктического бассейна — на Шпицбергене, Земле Франца-Иосифа, островах Де-Лонга, о. Элсмир и других островах Канадского арктического архипелага [Morozov et al., 2013]. Также в Арктике зафиксирован кайнозойский вулканизм. Он представлен достаточно широко — от Западного Шпицбергена и хр. Книповича, через хр.

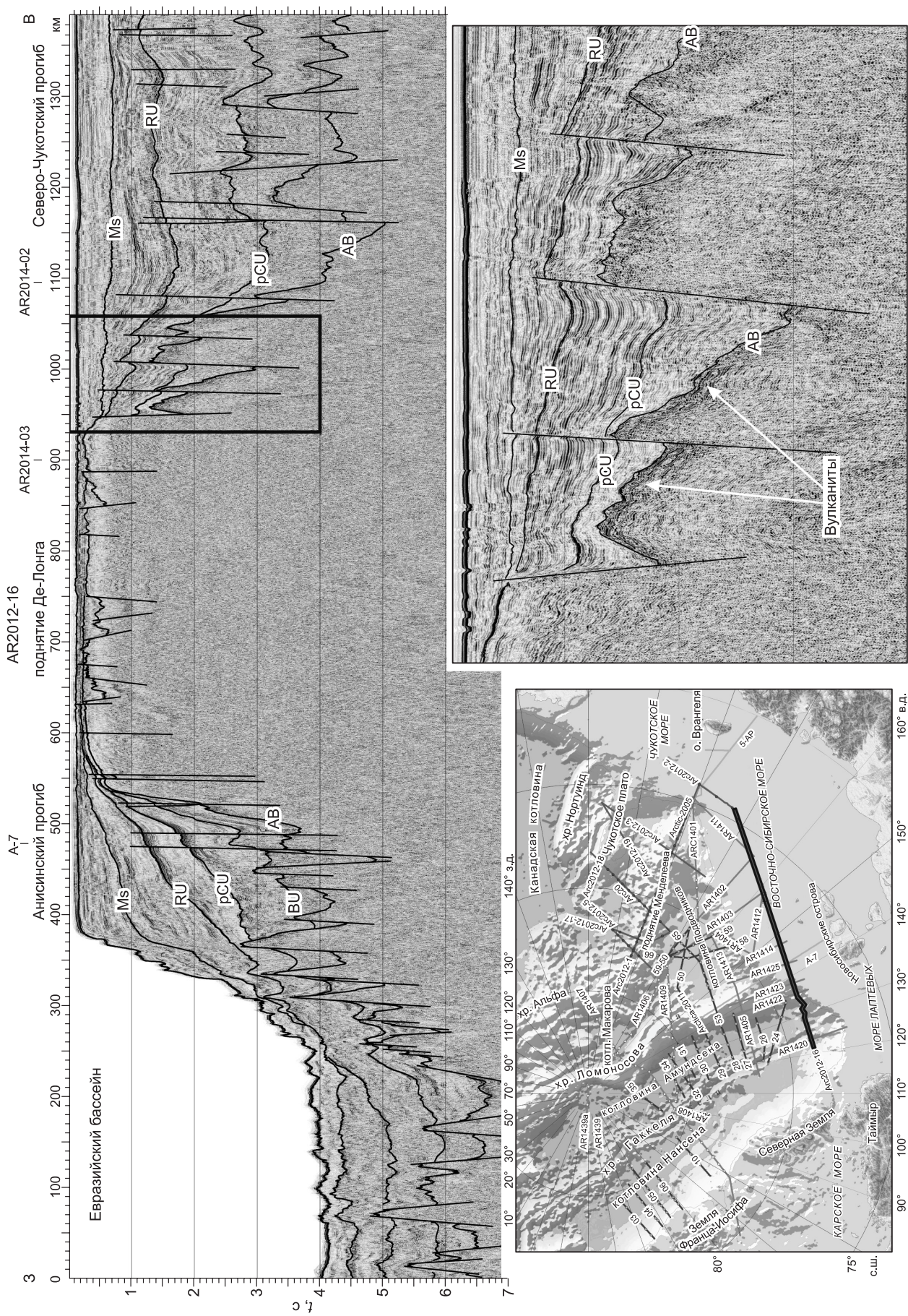


Рис. 7. Субширотный разрез МОВ—ОГТ через поднятие Де-Лонга.

Возраст основных несогласий указан на рис. 5.

Гаккеля к островам Де-Лонга и Аляске [Кораго и др., 2014]. На разрезах МОВ—ОГТ он коррелируется с многочисленными примерами реактивации меловых сбросов в палеогене и неогене, что свидетельствует о продолжении растяжения континентальной коры ЦАП в кайнозое.

Геодинамическая модель. Амеразийский бассейн Северного Ледовитого океана по своей морфологии и глубинному строению существенно отличается от Евразийского. Он больше похож не на океаническую структуру, а на континентальную окраину, испытавшую рифтогенез и распад на ряд блоков, погруженных на разную глубину [Граumberг, 2001].

По мнению авторов статьи, рифтовое растяжение комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий, как и другие знаковые тектонические процессы в Арктике в мезозое и кайнозое, наиболее адекватно на сегодняшний день моделирует геодинамический механизм верхнемантийной конвекции, разработанный Л.И. Лобковским [Лобковский и др., 2013] и В.А. Верниковским [Верниковский и др., 2010, 2013].

Как утверждают авторы, начиная с поздней юры раскрытие Канадской котловины и вызванная этим событием коллизия Чукотки, Сибири и Колымо-Омолонского супертеррейна связаны с субдукцией в Южно-Аньюском (Ангаючам) океане. В апте завершается закрытие Южно-Аньюского океана. Система субдукции перестроилась, поле напряжений с субмеридионального поменялось на субширотное. Началось субдукционное поглощение океанической коры со стороны Тихого океана, которое стало главной движущей силой растяжения земной коры в Центральной Арктике.

Широко проявленный и интенсивный эпизод субширотного регионального растяжения литосферы Арктики по многочисленным сейсмическим данным относят к апт—альбу. Условия растяжения в среднем мелу отмечались на Чукотке [Miller, Verzhbitsky, 2009] и севере Аляски.

Предложенная геодинамическая модель конвекции верхней мантии, связанной с глобальными субдукционными процессами в Южно-Аньюском и Тихом океанах, расценивается как общий механизм, контролирующей мезозойскую и кайнозойскую тектоническую эволюцию в Арктике. Он согласуется с большинством известных экспериментальных фактов и обладает определенной универсальностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ признаков рифтового растяжения в пределах отдельных морфоструктур комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий позволяет выявить определенные закономерности.

Наиболее очевидные признаки рифтового растяжения на разрезах МОВ—ОГТ, а именно — системы грабенов и полуграбенов в основании осадочного чехла, максимальные амплитуды нормальных сбросов при минимальных углах падения их плоскостей, фиксируются на хр. Ломоносова, поднятии Менделеева, Чукотском плато и на склонах поднятий в осадочные бассейны прогиба Вилькицкого и Чукотской впадины. По сути, западные части этих бассейнов представляют собой склоны хр. Ломоносова и поднятия Менделеева соответственно. В то же время восточные части осадочных бассейнов прогиба Вилькицкого и Чукотской впадины характеризуются практически ненарушенным залеганием всех осадочных комплексов. При этом депоцентры этих бассейнов выполнены, в соответствии с авторской сейсмостратиграфической интерпретацией, достаточно мощным комплексом доверхнеюрских отложений (до 4 км в котловине Подводников и до 1.2 км в Чукотской впадине), непосредственно продолжающихся из шельфового Северо-Чукотского прогиба.

Таким образом, главным фактором, влиявшим на тектоническую эволюцию морфоструктур комплекса Центрально-Арктических поднятий, является рифтовое растяжение континентальной коры, индикаторами которого служат две фазы мелового вулканизма HALIP и кайнозойский вулканизм на периферии. Доверхнеюрские осадки являются реликтом элсмирского структурного этажа (только верхнеэлсмирского или с включением нижнеэлсмирских комплексов — вопрос открытый), сохранившегося в глубоководном продолжении Северо-Чукотского прогиба от доокеанического этапа развития. По-видимому, глубокой рифтогенной переработке доверхнеюрские комплексы подвергались только на поднятиях ЦАП и в бортовых зонах разделяющих их депрессий. В структурно связанных с мелководным шельфом депоцентрах осадочных бассейнов прогиба Вилькицкого и Чукотской впадины отложения доверхнеюрского комплекса были затронуты рифтогенными процессами крайне слабо. По-видимому, на тектоническую эволюцию депоцентров, на их погружение относительно бортовых зон могли влиять не только процессы растяжения коры, но и компенсационные механизмы.

ЛИТЕРАТУРА

Арктический бассейн (геология и морфология) / Ред. В.Д. Каминский. СПб., ВНИИОкеангеология, 2017, 291 с.

Аргюшков Е.В., Поселов В.А. Образование глубоководных впадин в Российском секторе Амеразийского бассейна в результате эклогитизации нижней части континентальной коры // ДАН, 2010, т. 431, № 5, с. 680—684.

- Буценко В.В.** Сейсмостратиграфическая датировка главных тектонических событий в Арктическом океане // Геофизический вестник, 2006, № 11, с. 8—16.
- Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Каминский В.Д., Лобковский Л.И., Шпилов Э.В.** Геодинамика Центральной и Восточной Арктики // Материалы совместного заседания Совета РАН по координации деятельности региональных отделений и региональных научных центров РАН и Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики. Екатеринбург, Изд-во УрО РАН, 2010, с. 41—58.
- Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю.** Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1083—1107.
- Грамберг И.С.** Сравнительная геология и минерагения океанов и их континентальных окраин с позиций стадийного развития океанов // Геотектоника, 2001, № 6, с. 3—19.
- Кашубин С.Н., Петров О.В., Артемьева И.М., Морозов А.Ф., Вяткина Д.В., Гольшева Ю.С., Кашубина Т.В., Мильштейн Е.Д., Рыбалка А.В., Эринчек Ю.М., Сакулина Т.С., Крупнова Н.А.** Глубинное строение земной коры и верхней мантии поднятия Менделеева по профилю ГСЗ Арктика-2012 // Региональная геология и металлогения, 2016, № 65, с. 16—36.
- Кораго Е.А., Верниковский В.А., Соболев Н.Н., Ларионов А.Н., Сергеев С.А., Столбов Н.М., Проскурнин В.Ф., Соболев П.С., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Травин А.В.** Возраст фундамента островов Де-Лонга (архипелаг Новосибирские острова): новые геохронологические данные // ДАН, т. 457, № 3, 2014, с. 315—322.
- Лобковский Л.И., Шпилов Э.В., Кононов М.В.** Геодинамическая модель верхнемантийной конвекции и преобразования литосферы Арктики в мезозое и кайнозое // Физика Земли, 2013, № 6, с. 20—38.
- Поселов В.А., Буценко В.В., Каминский В.Д., Сакулина Т.С.** Поднятие Менделеева (Северный Ледовитый океан) как геологическое продолжение континентальной окраины Восточной Сибири // ДАН, 2012, т. 443, № 2, с. 232—235.
- Поселов В.А., Буценко В.В., Жолондз С.М., Жолондз А.С., Киреев А.А.** Сейсмостратиграфия осадочного бассейна котловины Подводников и Северо-Чукотского прогиба // ДАН, 2017, т. 474, № 5, с. 621—624.
- Сколотнев С.Г., Федонкин М.А., Корнийчук А.В.** Новые данные о геологическом строении юго-западной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // ДАН, 2017, т. 476, № 2, с. 190—196.
- Backman J., Moran K., McInroy D.B., Mayer L.A.** Sites M0001-M0004. Expedition 302 Scientists // Proc. Integrated Ocean Drilling Program, 2006, v. 302, p. 1—115.
- Bird K.J.** Ellesmerian petroleum system, North Slope of Alaska, USA // AAPG Special Volumes. Chapter 21. Part V. 1994, p. 339—358.
- Brumley K., Mayer L., Miller E.L., Coakley B.** Dredged rock samples from the Alpha Ridge, Arctic Ocean: Implications for the tectonic history and origin of the Amerasia Basin // Fall Meeting AGU abstract №T43B-2013. San Francisco, 2008.
- Brumley K., Miller E.L., Mayer L.A., Wooden J.L., Dumitru T.A.** Petrography and U-Pb geochronology of Caledonian age orthogneisses dredged from the Chukchi Borderland, Arctic Ocean // Fall Meeting AGU abstract #T51K-07, San Francisco, 2011.
- Bruvold V., Kristoffersen Y., Coakley B., Hopper J.R., Planke S., Kandilarov A.** The nature of the acoustic basement on Mendeleev and northwestern Alpha ridges, Arctic Ocean // Tectonophysics, 2012, v. 514—517, p. 123—145.
- Butsenko V.V., Poselov V.A.** Regional paleotectonic interpretation of seismic data from the deep-water central Arctic // Proc. IV Int. Conf. on Arctic Margins (ICAM IV). Anchorage. Department of the Interior., 2006, p. 125—131.
- Carey S.W.** The orocline concept in geotectonics // R. Soc. Tasmania Pap. Proc. Tasmania Univ. Dep. Geol. Publ., 1958, v. 28, p. 255—288.
- Coffin M.F., Eldholm O.** Large igneous provinces: Crustal structure, dimensions, and external consequences // Rev. Geophys., 1994, № 32, p. 1—36.
- Dove D., Coakley B., Hopper J., Kristoffersen Y.** Bathymetry, controlled source seismic and gravity observations of the Mendeleev Ridge; implications for ridge structure, origin, and regional tectonics // Geophys. J., 2010, № 183, p. 481—502.
- Forsyth D.** Alpha Ridge and Iceland-products of the same plume? / Eds. D. Forsyth, A.L. Morel, P. Huisier, I. Asudeh, A. Green // J. Geodyn., 1986, № 6, p. 197—214.
- Funck T., Jackson H.R., Shimeld J.** The crustal structure of the Alpha Ridge at the transition to the Canadian Polar Margin: Results from a seismic refraction experiment // J. Geophys. Res., 2011, Solid Earth 116, p. 1—26.

Grantz A., Eittreim S., Dinter D.A. Geology and tectonic development of the continental margin north of Alaska // *Tectonophysics*, 1979, v. 59, p. 263—291.

Grantz A., Hart P., Childers V. Geology and tectonic development of the Amerasia and Canada Basins, Arctic Ocean / Eds. A.M. Spencer, A.F. Embry, D.L. Gautier, A.V. Stoupakova, K. Sørensen. *Arctic Petroleum Geology*. Geological Society London. Memoirs, 2011, v. 35, p. 771—799.

Gusev E., Rekant P., Kaminsky V., Krylov F., Morozov A., Shokalsky S., Kashubin S. Morphology of seamounts at the Mendeleev Rise, Arctic Ocean // *Polar Res.*, 2017, v. 36, p. 2—10.

Hegewald A., Jokat W. Relative sea level variations in the Chukchi region — Arctic Ocean — since the late Eocene // *Geophys. Res. Lett.*, 2013, v. 40, p. 1—5.

Jokat W. Seismic investigations along the western sector of Alpha Ridge, Central Arctic Ocean // *Geophys. J.*, 2003, № 152, p. 185—201.

Jokat W., Ickrath M., O'Connor J. Seismic transect across the Lomonosov and Mendeleev Ridges: Constraints on the geological evolution of the Amerasia Basin, Arctic Ocean // *Geophys. Res. Lett.*, 2013, v. 40, p. 5047—5051.

Klemperer S.L., Miller E.L., Grantz A., Scholl D.W. Crustal structure of the Bering and Chukchi shelves: Deep seismic reflection profiles across the North American continent between Alaska and Russia // *GSA Special Paper.*, 2002, v. 360, p. 1—24.

Lebedeva-Ivanova N.N., Zamansky Y.Y., Langinen A.E., Sorokin M.Y. Seismic profiling across the Mendeleev Ridge at 82°N: Evidence of continental crust // *Geophys. J.*, 2006, № 165, p. 527—544.

Miller E.L. New insights into Arctic paleogeography and tectonics from U-Pb detrital zircon geochronology / Eds. E.L. Miller, J. Toro, G. Gehrels, J.M. Amato, A. Prokopiev, M.I. Tuchkova, V.V. Akinin, T.A. Dumitru, T.E. Moore, M.P. Cecile // *Tectonics*, 2006, № 25, p. 1—19.

Miller E.L., Verzhbitsky V.E. Structural studies near Pevek, Russia: Implications for formation of the East Siberian Shelf and Makarov Basin of the Arctic Ocean // Eds. D.B. Stone, K. Fujita, P.W. Layer, E.L. Miller, A.V. Prokopiev, J. Toro // *Geology, geophysics and tectonics of Northeastern Russia: a tribute to Leonid Parfenov*. EGU Stephan Mueller Publication Series, 2009, v. 4, p. 223—241.

Morozov A.F., Petrov O.V., Shokalsky S.P., Kashubin S.N., Kremenetsky A.A., Shkatov M.Yu., Kaminsky V.D., Gusev E.A., Grikurov G.E., Rekant P.V., Shevchenko S.S., Sergeev S.A., Shatov V.V. New geological data are confirming continental origin of the Central Arctic rises // *Regional Geol. Metallog.*, 2013, № 52, p. 2—25.

Mukasa S., Andronikov A., Mayer L., Brumley K. Geochemistry and geochronology of the first intra-plate lavas recovered from the Arctic Ocean // *Portland GSA Annual Meeting*, 2009, Paper № 138, p. 11.

Petrov O. Crustal structure and tectonic model of the Arctic region / Eds. O. Petrov, A. Morozov, S. Shokalsky, S. Kashubin, I.M. Artemeva, N. Sobolev, E. Petrov, R.E. Ernst, S. Sergeev, M. Smelror // *Earth Sci. Rev.*, 2016, № 154, p. 29—71.

Poselov V., Butsenko V., Chernykh A., Glebovsky V., Jackson H.R., Potter D.P., Oakey G., Shimmel J., Marcussen C. The structural integrity of the Lomonosov Ridge with the North American and Siberian continental margins // *Proc. VI Int. Conf. on Arctic Margins (ICAM VI)*. Fairbanks, Alaska, 2014, p. 233—258.

Scotese C.R. Paleogeographic reconstructions of the Circum-Arctic region since the Late Jurassic. Paleogeographic and paleoclimatic atlas // *AAPG. Online Journal E&P Geoscientists*. 2011 (www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2011/30192scotese).

Sherwood K.K., Johnson P.P., Craig J.D., Zerwick S.A., Lothamer R.T., Thurston D.K., Hulbert S.B. Structure and stratigraphy of Hanna Trough, U.S. Chukchi Shelf, Alaska // *GSA Special Paper*, 2002, v. 360, p. 1—14.

White R.S., McKenzie D.P. Magmatism at rift zones: The generation of volcanic continental margins and flood basalts // *J. Geophys. Res.*, 1989, v. 94, № B6, p. 7685—7729.

*Рекомендована к печати 15 июня 2018 г.
В.А. Верниковским*

*Поступила в редакцию 19 июня 2017 г.,
после доработки — 26 февраля 2018 г.*